

## 討5 連続鋳造での鋳込条件と2・3の問題点について

住友金属工業 中央技術研究所 荒木泰治

### 1. 緒言

鋼の連続鋳造法が将来の造塊分野の主流となると考えられていることから、今後とも経済性に立脚して生産性の増大と品質向上に関する研究が必要とされている。

これらの問題の研究には凝固現象に影響をおよぼす鋳込条件の検討が重要な役割を占めることは勿論である。連続鋳造における凝固の特性として普通造塊と異なる点があり、これらはいずれも従来の造塊法に比して厳密な鋳込条件の管理を必要とするものである。すなわち1)鋳片の冷却速度が大であり、したがって凝固速度が大となる。2)注入流による湯流れの影響をより強く受けながら凝固が進行する。3)溶鋼が凝固鋼とともに下部へ引かれながら凝固が進行するという点が連続鋳造の場合の特性としてあげられる。一方品質上の問題として割れ、ブローホール、その他表面肌に関するいわゆる表面欠陥の問題と非金属介在物、内部ポロシティなどの内部欠陥の問題があるがこれらはいずれも上に述べた凝固特性とそれに基づく鋳込条件の管理に大いに関係しているものである。

例えば鋳込温度の管理は鋳片の割れ対策、ノズル詰り対策等の問題と関連して従来より一層の厳密さを要求され、注入流の湯流れが局所的に偏る場合には不均一な凝固をもたらし、ブレイクアウトにも発展する。また溶鋼が引抜かれながら凝固することは非金属介在物の浮上をさまたげるため鋳込時の溶鋼をより清浄なものにする必要が生じる。その他一般に表面肌の問題についても凝固速度の大きいことは従来以上に鋳込技術の管理が要求されるであろう。

連続鋳造における鋳込条件は個々の機械により、また鋳込品目により様々に変化するのであろう。今回は当社小倉製鉄所の110<sup>#</sup>用と和歌山製鉄所の広巾スラブ用連続鋳機に関するものを取りまぜて報告する。その内容は鋳込温度の均一化を狙った取鍋内不活性ガス吹込法の問題、注入流による鋳型内溶鋼の湯動きの問題、そして最後に非金属介在物の生成機構とその防止法に関する研究室的、および現場的実験結果を含んでいる。

### 2. 流体模型による取鍋内ガス吹込法の検討

連続鋳造において鋳込温度を均一化することは操業の安定や鋳片の表面欠陥防止上に重要である。最近ポーラス耐火物の発達により取鍋底よりAr等の不活性ガスを吹込む技術がとり入れられいくつが報告<sup>1)</sup>もなされている。そこで最も効果的に湯を攪拌し温度の均一化が得られるかを流体模型実験で検討した。詳細はすでに昭和44年度秋季講演会にて発表している<sup>2)</sup>のでここでは簡単に述べる。

模型は70<sup>t</sup>取鍋の1/10アクリル製で流体としては水を、ポーラス煉瓦の代わりにタバコのフィルターを使用した。まず最初取鍋上部にパイプヒーターを入れて上部のみを加熱しておく。そこで底からタバコフィルターを通してArガスを吹きこんで攪拌し、上部と下部に直列に挿入したA.C.熱電対でその温度差の時間的变化を記録し、均一になるまでに要する時間を測定した。

変化した要因としては吹込量(100~1200 cc/min)、吹込ノズル位置(風辺部、中間部、中央部)、ノズル個数(1,2)をとった。この実験で判明したこととして次のことがあげられる。まず吹込ガス量にはその吹込条件で臨界値があり、それ以上流量を増しても効果はない。吹込ノズル個数は数が多くなっても大きな効果はなく1か所がよい。そしてその位置はできるだけ壁に近づけた方が循環流がよく生じて効果的である。したがって通常普通造塊で用いられているダブルストッパー式取鍋の片側ノズル位置にポーラス煉

瓦をセットすることは望ましいと云える。現在当社ではこの方法でほぼ均一な鑄込温度を得ている。その一例として70<sup>t</sup>取鍋において窒素ガスを吹込んだ結果を図-1に示す。この図からわかるようにガス吹込みを行なわなかった場合は最初の温度が低く、10分位まで温度の上昇がつかうのに対してガス吹込みでほぼ最初から均一な温度を得ることができる。連続鑄造では鋼塊の鑄込に比してタンディシュの鑄込ノズルは小径を使用しなければならぬことと鑄込初めはタンディシュ内での温度低下も大きいことから鑄込初めの溶鋼温度の低いことはノズル肉寒につながる。したがってガス吹込法は割れの防止や鑄肌の改善とあいまって非常に重要なことである。

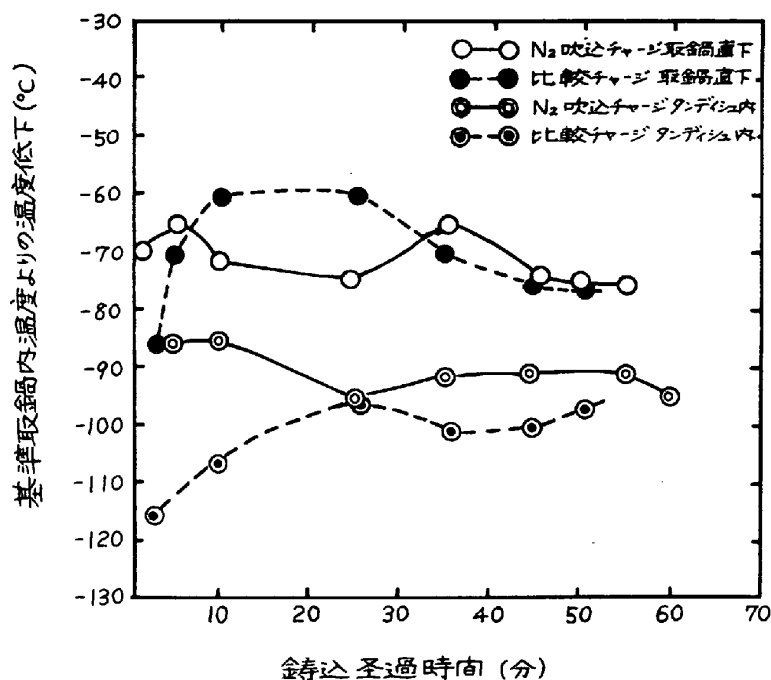


図-1 取鍋内ガス吹込の溶鋼温度におよぼす影響  
(小倉製鉄所70<sup>t</sup>取鍋)

### 3. 流体模型による鑄片内湯動きの検討

注入流による湯動きの状況を調べることは凝固条件および非金属 inclusion の浮上性と関連して必要であると考えたので実物大で水による模型実験を行なった。実物大で行なうことにより相似条件として  $Re$  数と  $Fr$  数を実際の場合に合致させることができる。小倉製鉄所の小型ビレットに關しては既に報告を行なっている<sup>2)</sup>ので省略し和歌山製鉄所のスラブ用連鑄の場合について述べる。鑄片は上部が130×1040でそれから下へは凝固厚さの実測により求めた未凝固部断面どおりに成型した模型を使用した。普通鑄込に対しては20mmφノズル3ヶをつけ、浸漬ノズルの場合は1本としそれに逆Y型の35~40mmφノズルを使用した。2ヶ孔の傾斜角度、湯面からのつこみ深さなどについて種々変化して実験した。流れの状況はその一例を図-2(a), (b)に示す。3本のオープンノズルでは多量の空気のまきこみを生じそれに伴って乱流域が存在する。その乱流域の範囲は1本のノズル径が小さいこともあって比較的狭く湯面より800mm以上のところではほぼ層流となっている。それに対して浸漬ノズルの場合には流れは一旦凝固壁に衝突し、そこで流れが上下二方向に分れる。下方へ向った流れは短辺側面に沿って下降し、その勢いは1850mmにまでも達している。この壁面に沿った下降流を強くすることが深くまで攪拌をおこさせる原動力となっている。攪拌状況としてはこの図でほぼ左右対称となっているが浸漬ノズル取付が傾斜した場合には下部で大きな流れの偏りが生じる。一方上方へ向った流れはそこで環流を形成するがノズル浸漬深さが浅い場合、逆Y型の噴出角度が水平面に対して小さい場合には同図に示すAとBの場所から空気のまきこみがみられ噴流の中にはいることが観察された。実際の場合も湯面のおどりが激しい場合が観察されることから現実にもこのような空気のまきこみが起りうると想像される。鑄片未凝固部溶鋼の温度不均一は割れ、凹みひいてはブレードアウトの問題をひきおこすが今回の模型実験からノズルを2ヶ孔にし適当な傾斜角度と浸漬深さを持たせることにより十分な攪拌効果がえられることが判明した。

4. 空気酸化と非金属介在物

上述の流体模型実験からも明らかのようにオープンノズルでは注入落下流によって鑄型内に多量の空気をまきこませる。これは従来の鋳塊鑄造の場合も同様であるが連続鑄造の特性からそれが特に大きな問題となる。この点について小倉製鉄所110#連続鑄機の実験により明らかにすることができたので以下に報告する。

4-1 鑄造時の酸化介在物のトレース

鑄片の介在物減少対策の一環として介在物起源を確かめるため取鍋内タンデッシュ内、鑄型内容鋼および鑄片内の介在物を顕微鏡的に調査した。その例を図-3に示す。その結果タンデッシュ内までは介在物の量は少なく、大きさも小さいが普通ノズルによる鑄造では鑄型内に多量の大型介在物を有していることがわかった。そして鑄片内にもそれと同種の100~200μ程度の大型介在物が存在している。このことは鑄型内において多量の酸化物がつくられたことを意味する。一方

そういう条件下での鑄造では鑄型内湯面上にスカムを多量生成する。したがってそのスカムが注入落下流にたどりまかれて溶鋼中はいりうることも考えられる。そこで鑄型内スカムが注入流にたどりまかれて鑄片内介在物にはいりうるかどうかについてトレーサー実験を行なった。トレーサーとしてはLaまたはCeの酸化物を10%配合したMnO-SiO<sub>2</sub>との3元系の合成スカムを焼結して湯面に添加した。この合成スカムは添加と同時にやわらかい液状となった。その時に凝固した鑄片の介在物をEPMAによって同定した結果1例を表-1に示すように100μ以上の大型介在物には約1/2程度にうすめられているが明らかにトレーサー元素を検出し、スカムから大型介在物はいりうることが判明した。

連続鑄造では既に述べたように凝固中常に高速で下部へ引きおろされているため未凝固鋼中の懸濁介在物は浮上が困難となり凝固鋼にとらえられることになる。例えばストークスの法則によって介在物が浮上するとすると1000mm/minの引板速度では直径200μの介在物も浮上できないことになる。したがって注入流によって生じる乱流域では新たな酸化によって生じた酸化物の凝集、スカムからきた大型介在物が混合して浮上と再突入の循環をくり返しているがそのうち鑄片の引板速度より浮上速度の小さい介在物のみが下部へ引きこまれ鑄片に残留することになる

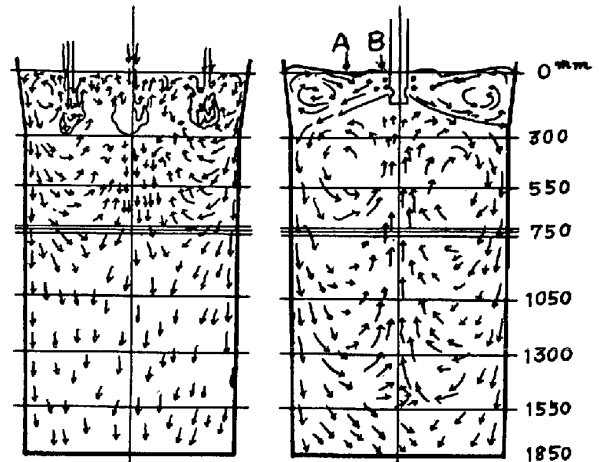


図-2 130×1040スラブ連続鑄造時の湯流状況 (タンデッシュ水面高さ300mm)

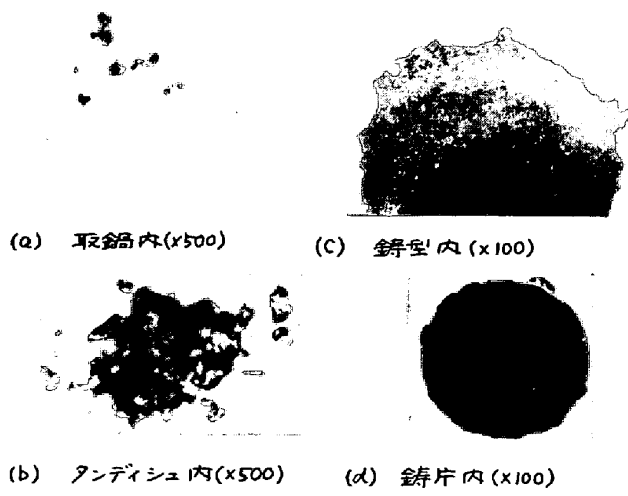


図-3 取鍋から鑄片までの介在物例 (0.40%C, 0.22%Si, 0.68%Mn, 0.008%sol.Al)

表-1 スカムと鑄片内介在物組成(Ce入り合成スカム実験%)

成 分		CeO <sub>2</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
スカム	添加前	10.0	54.0	36.0	—	—	—	—
	添加後	6.6	37.9	32.1	2.9	0.3	0.1	2.8
大型介在物(195μ)		4.9	39.0	28.0	1.4	1.0	0.2	2.2
中型介在物(78μ)		0.6	48.7	26.1	0.7	2.3	0.2	5.4
小型介在物(37μ)		0.1	26.8	25.0	1.8	2.8	1.2	38.1

4.2 空気酸化防止に關する鑄込試験

当社小倉製鉄所の連鑄機は小型ビレット用であるため鑄込ノズル径は小さく、引板速度は大である。これらのことは注入流の空気酸化と生成酸化物の浮上に対しては最も悪い条件下におかれている。したがって高級品種の鑄込に対してこの対策については最も慎重な配慮を必要とする。空気酸化防止法としてここでとりあげたものは浸漬ノズルの使用と密閉容器内Arガス雰囲気での鑄込である。試験対象鋼種としては中・高炭素鋼で、脱炭はAlを少量しか添加しないものとAl細粒鋼の2種類ある。図-4には鑄込法別、鋼種別に顕微鏡観察による大型介在物の個数を示している。1つの英はその鑄込法を行なった1つのストランドの平均値で被検面積としては約10cm<sup>2</sup>である。この結果からみて空気酸化防止が大型介在物の防止に非常に効果をあらわし雰囲気内の酸素濃度は1%以下にする必要がある。

浸漬ノズルの場合については取付上の問題が残されようである。Al脱炭の有無についてはこの図からもわかるようにAl脱炭の効いていない方が大型介在物がやすい。それはこの大型介在物がマンガンシリケートであることから考えて当然である。むしろAl細粒鋼の平衡酸化物はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>であるのにかかわらず空気酸化を受けた場合には凝固鋼内にマンガンシリケートとアルミナとが共存する。これは普通造塊にみられないことで、連鑄特有の引板と凝固速度の大きいことが原因である。つぎにC含有量の影響についてみると図-4に◎で示すようにCが0.6%以上になると大気鑄込でもほとんど大型介在物は生成されなかった。事実平衡論的に求めてもCが0.5%前後でマンガンシリケートは生成しないはずで、速度論的にも転炉の脱炭反応速度から考えてCがこの附近以上でO<sub>2</sub>との反応速度が急激に増大する。したがって雰囲気はCOガスで置きかえられることになり、マンガンシリケートの生成を抑制するものと考えられる。表2に同試験材についてスライム法による介在物抽出結果を示した。その他の調査結果もすべて同様の傾向であることを確認している。

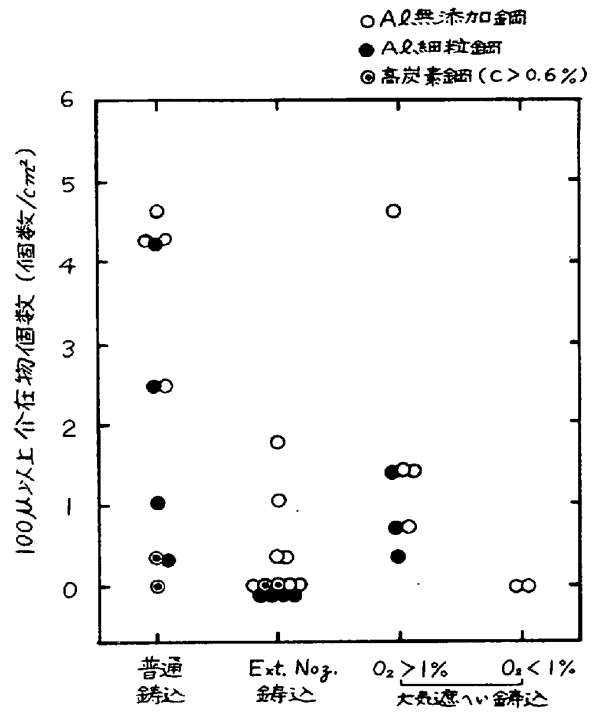


図-4 鑄込法別の大型介在物個数

5. 結 言

連続鑄造における問題点を品質面に重点を置いて、鑄込条件との関連を論じた。連続鑄造の凝固条件は普通造塊の場合に比して品質・操業面において severe であり sensitive なものである。それだけに鑄込条件の管理は厳密さを要求される。今後とも湯流れ現象を加味した凝固現象の解明、更にまた耐火物、計測・制御技術に關する研究もあわせ行なうことにより、鑄込の連続化、鑄込速度の増大、自動化等の問題に発展の余地が多いと思われる。

表-2 スライム法による介在物抽出結果

	電解重量 (g)	介在物量 (PPM)	大きさ割合 (%)	
			>100μ	<100μ
普通鑄込	6892	22.3	75.1	24.9
浸漬ノズル	6338	2.8	69.6	30.4
大気鑄込	O <sub>2</sub> = 6%	7499	14.8	72.3
	O <sub>2</sub> < 1%	6574	1.2	篩分け不能

文 献： 1)例え日本鋼管技研, 38回製鋼部会資料(38-21) 2)田上・青木, 鉄と鋼55(1969)11, 5512  
3)住金小倉, 42回製鋼部会資料(42-26)